

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-258301

(43)Date of publication of application : 16.09.1994

(51)Int.Cl.

G01N 29/22  
G01B 17/02

(21)Application number : 05-066127

(71)Applicant : ASAHI DENKI KK  
TOKYO ELECTRIC POWER CO  
INC:THE

(22)Date of filing : 02.03.1993

(72)Inventor : KIKUCHI HIDEAKI  
OISHI YUJI

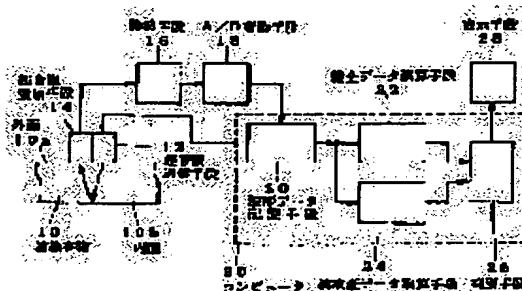
## (54) DISCRIMINATION APPARATUS OF INTERNAL CORROSION

### (57)Abstract:

**PURPOSE:** To obtain an apparatus wherein the corrosion situation in the inside of an object to be inspected is discriminated quantitatively from the outside by using ultrasonic waves.

**CONSTITUTION:** Ultrasonic waves are transmitted vertically toward an inner face 10b from an outer face 10a, they are reflected respectively from inner face 10b and the outer face 10a, reflected waves are received repeatedly by an ultrasonic-wave reception means 14, and waveform data is found. On the basis of a plurality of pieces of waveform data obtained from a sound inner face in advance, the peak value of a plurality of y reflected waves is logarithmically transformed by a sound data operation means 22, a plurality of variables representing a regression line are found, and a reliable section for every variable is computed. On the basis of waveform data obtained from an object 10, to be inspected, in which the state of an inner face is not

clear, a variable representing a regression line is computed by a to-be-inspected-data computation means 24. Whether the variable is included in the reliable section or not is discriminated by a discrimination means 26. When the variable is included in the reliable section, the inner face 10b can be discriminated to be sound and, when the variable is not included in the reliable section, the inner face 10b can be discriminated to be corroded.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平6-258301

(43) 公開日 平成6年(1994)9月16日

(51) Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 N 29/22	5 0 1	6928-2 J		
G 0 1 B 17/02		Z		

審査請求 未請求 請求項の数 4 F D (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平5-66127

(22) 出願日 平成5年(1993)3月2日

(71) 出願人 000117010

旭電機株式会社

神奈川県川崎市高津区久本1丁目8番1号

(71) 出願人 000003687

東京電力株式会社

東京都千代田区内幸町1丁目1番3号

(72) 発明者 菊地 秀昭

神奈川県川崎市高津区久本1丁目8番1号

旭電機株式会社内

(72) 発明者 大石 祐司

東京都千代田区内幸町1丁目1番3号 東

京電力株式会社内

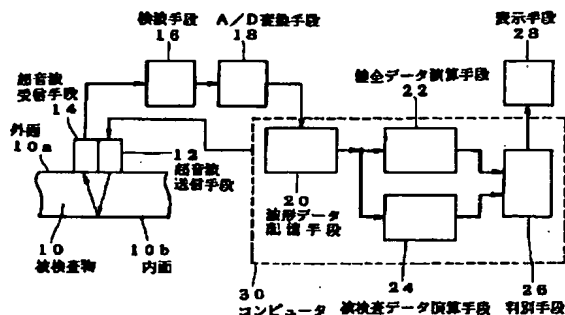
(74) 代理人 弁理士 森山 哲夫

(54) 【発明の名称】 内面腐食判別装置

(57) 【要約】

【目的】 被検査物10の内面10bの腐食状況を、外面10aから超音波を用いて定量的に判別する。

【構成】 外面10aから内面10bに向けて超音波を垂直に送信し、内面10bと外面10aでそれぞれ反射させ、超音波受信手段14で繰り返して反射波を受信して波形データを求める。予め、内面が健全であるものから得られた多数個の波形データから、健全データ演算手段22により、それぞれに複数回の反射波のピーク値を対数変換して回帰直線を表わす複数個の変数を求め、変数毎に信頼区間を算出する。内面の状況が不明な被検査物10から得られた波形データから、被検査データ演算手段24で回帰直線を表わす変数を算出する。そして、判別手段26でこの変数が信頼区間に含まれるか否かを判別する。信頼区間内であれば、内面10bは健全であり、信頼区間に含まれなければ、内面10bは腐食されていると判別し得る。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 パルス状の超音波を被検査物の外面から内面に向けて送信する超音波送信手段と、内面で反射された前記超音波の反射波を受信する超音波受信手段と、

前記超音波受信手段で受信され、前記外面と内面で繰り返し反射されて複数回の反射波からなる波形データを、A/D変換するA/D変換手段と、A/D変換された前記波形データを記憶する波形データ記憶手段と、

予め、内面が健全な被検査物またはその相当物から得られた複数個の波形データから、各波形データ毎に、複数回の反射波の各ピーク値を検出し、これらのピーク値を対数変換し、対数変換されたデータから回帰直線を作成し、この回帰直線を表わす複数個の変数を算出し、さらに複数個の波形データからそれぞれに得られた複数個の変数毎に、平均値と標準偏差および信頼区間を算出し、それらのデータを記憶する健全データ演算手段と、

内面の状況が不明な被検査物から得られた波形データから、複数回の反射波の各ピーク値を検出し、これらのピーク値を対数変換し、対数変換されたデータから回帰直線を作成し、この回帰直線を表わす複数個の変数を算出し、これらを記憶する被検査データ演算手段と、

各変数毎に、前記健全データ演算手段に記憶された信頼区間と、前記被検査データ演算手段で得られた変数とを比較し、前記信頼区間内に前記被検査データ演算手段で得られた変数が含まれる程度により被検査物の内面が健全であるか腐食されているかを判別する判別手段と、

この判別手段による結果を表示する表示手段と、

からなることを特徴とする内面腐食判別装置。

【請求項2】 パルス状の超音波を被検査物の外面から内面に向けて送信する超音波送信手段と、

内面で反射された前記超音波の反射波を受信する超音波受信手段と、

前記超音波受信手段で受信され、前記外面と内面で繰り返し反射されて複数回の反射波からなる波形データを、A/D変換するA/D変換手段と、

A/D変換された前記波形データを記憶する波形データ記憶手段と、

予め、内面が健全である被検査物および内面の腐食状況の明らかな被検査物から得られた複数個の波形データから、各波形データ毎に、複数回の反射波の各ピーク値を検出し、これらのピーク値を対数変換し、対数変換されたデータから回帰直線を作成し、この回帰直線を表わす複数個の変数を算出し、さらにこれらの変数により内面の腐食状況を示す重回帰式を算出し、これを記憶する重回帰式演算手段と、

内面の状況が不明な被検査物から得られた波形データから、複数回の反射波の各ピーク値を検出し、これらのピーク値を対数変換し、対数変換されたデータから回帰直

線を作成し、この回帰直線を表わす複数個の変数を算出し、これらを記憶する被検査データ演算手段と、

前記被検査データ演算手段で得られた変数を前記重回帰式演算手段で得られた重回帰式に代入して前記内面の状況が不明な被検査物の内面の腐食状況を算出し、この腐食状況の程度により被検査物の内面が健全であるか腐食されているかを判別する判別手段と、

この判別手段による結果を表示する表示手段と、

からなることを特徴とする内面腐食判別装置。

10 【請求項3】 パルス状の超音波を被検査物の外面から内面に向けて送信する超音波送信手段と、

内面で反射された前記超音波の反射波を受信する超音波受信手段と、

前記超音波受信手段で受信され、前記外面と内面で繰り返し反射されて複数回の反射波からなる波形データを、A/D変換するA/D変換手段と、

A/D変換された前記波形データを記憶する波形データ記憶手段と、

20 予め、内面が健全である被検査物および内面の腐食状況の明らかな被検査物から得られた複数個の波形データから、各波形データ毎に、複数回の反射波の各ピーク値を検出し、これらのピーク値を対数変換し、対数変換されたデータから回帰直線を作成し、この回帰直線を表わす複数個の変数を算出し、さらにこれらの変数より内面が健全であるか腐食されているかを区分する判別式を算出し、これを記憶する判別式演算手段と、

内面の状況が不明な被検査物から得られた波形データから、複数回の反射波の各ピーク値を検出し、これらのピーク値を対数変換し、対数変換されたデータから回帰直線を作成し、この回帰直線を表わす複数個の変数を算出し、これらを記憶する被検査データ演算手段と、

30 前記被検査データ演算手段で得られた変数を前記判別式演算手段で得られた前記判別式に代入して、その算出結果より被検査物の内面が健全であるか腐食されているかを判別する判別手段と、

この判別手段による結果を表示する表示手段と、

からなることを特徴とする内面腐食判別装置。

【請求項4】 請求項1ないし3記載のいずれかの内面腐食判別装置において、超音波が送信されてから反射波が受信されるまでの時間または複数回の反射波が繰り返される周期から被検査物の板厚を測定してこれを記憶する板厚測定手段を設け、前記判別手段において前記測定された板厚を判別に加味するようにしたことを特徴とする内面腐食判別装置。

【発明の詳細な説明】  
【0001】  
【産業上の利用分野】 本発明は、被検査物の内面の腐食状況を外面から判別するための内面腐食判別装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】鋼管を構造物とする送電線用の鉄塔は、一般普及後20年以上が経過し、近年になって工業地域等の大気汚染の厳しい地域にある鋼管の腐食が問題となって来ている。

【0003】鋼管の外面に関しては、目視検査により比較的容易に腐食状況が判別でき、万一にも腐食が確認されれば、適宜な塗装等によって補修することができる。しかるに、鋼管の内面の腐食状況の確認は、容易には目視検査することができない。

【0004】そこで、鋼管の内部に光ファイバースコープを挿入して内面の腐食状況の確認がなされていた。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】この光ファイバースコープを用いる検査方法にあっては、点検装置自体が高価である。また、点検装置が大型であり、鉄塔上の検査作業に対して多大な労力を要するという不具合がある。

【0006】さらに、光ファイバースコープにより得られた鋼管の内面状況から、熟練者の経験と勘に依存して腐食の有無を判別するので、その判別結果が検査作業員の能力的個人差によってバラツキを生じるという不具合があった。

【0007】また、鋼管の外面からパルス状の超音波を内面に向けて送信し、その反射波のレベルと波形から、内面の腐食状況を判別する技術が提案されている。しかしながら、その判別には、確実な基準がなく、熟練者の経験と勘に依存するものであって、判別結果が検査作業員の能力的個人差によって大きなバラツキを生じるという不具合があった。

【0008】本発明は、かかる事情に鑑みてなされたもので、超音波を用いて被検査物の内面の腐食状況を、作業員の勘等に依存することなしに、正確かつ確実に判別することのできるようにした内面腐食判別装置を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】かかる目的を達成するために、本発明の内面腐食判別装置は、パルス状の超音波を被検査物の外面から内面に向けて送信する超音波送信手段と、内面で反射された前記超音波の反射波を受信する超音波受信手段と、前記超音波受信手段で受信され、前記外面と内面で繰り返し反射されて複数回の反射波からなる波形データを、A/D変換するA/D変換手段と、A/D変換された波形データを記憶する波形データ記憶手段と、予め、内面が健全な被検査物またはその相当物から得られた複数個の波形データから、各波形データ毎に、複数回の反射波の各ピーク値を検出し、これらのピーク値を対数変換し、対数変換されたデータから回帰直線を作成し、この回帰直線を表わす複数個の変数を算出し、さらに複数個の波形データからそれぞれに得られた複数個の変数毎に、平均値と標準偏差および信頼区間を算出し、それらのデータを記憶する健全データ演算

手段と、内面の状況が不明な被検査物から得られた波形データから、複数回の反射波の各ピーク値を検出し、これらのピーク値を対数変換し、対数変換されたデータから回帰直線を作成し、この回帰直線を表わす複数個の変数を算出し、これらを記憶する被検査データ演算手段と、各変数毎に、前記健全データ演算手段に記憶された信頼区間と、前記被検査データ演算手段で得られた変数とを比較し、前記信頼区間内に前記被検査データ演算手段で得られた変数が含まれる程度により被検査物の内面が健全であるか腐食されているかを判別する判別手段と、この判別手段による結果を表示する表示手段と、で構成されている。

【0010】

【作用】外面から内面に向けて送信された超音波が内面で反射される際に、内面が健全で平滑であれば、反射波の反射方向は一定であり、受信手段で受信し得る反射波の強度は大きい。しかし、内面が腐食し平滑でないならば、反射波は拡散し、受信手段で受信し得る反射波の強度は小さいものとなる。そして、超音波が外面と内面で繰り返し反射される複数回の反射波の強度は、内面の腐食状況に応じた減衰率で等比級数で小さくなってゆく。このことから、複数回の反射波のピーク値を対数変換して回帰分析により得られる回帰直線は、内面の腐食状況により異なったものとなる。

【0011】ここで、内面の健全な被検査物等から得られた複数個の波形データからそれぞれ回帰直線を演算して、各回帰直線を表わす複数個の変数を演算すれば、各変数はそれぞれに正規分布で分散すると考えられる。

【0012】そこで、内面の状況が不明な被検査物から得られる反射波から回帰直線を算出して変数を算出し、これらの変数が健全な被検査物から得られる変数の信頼区間に含まれる程度により、対象となる被検査物の内面が健全であるか腐食されているかが、推計学的処理により定量的に判別し得る。

【0013】

【実施例】以下、本発明の第1の実施例を、図1ないし図8を参照して説明する。図1は、本発明の内面腐食判別装置の第1の実施例のブロック構造図であり、図2は、波形データの一例を示す図であり、図3は、波形データから得られる回帰直線を示す図であり、図4は、予め内面が健全な被検査物から得られた複数個の回帰直線を表わす変数の正規分布を示す図であり、図5は、波形データから回帰直線を表わす変数を算出する動作のフローチャートであり、図6は、予め内面が健全な被検査物から得られた複数個の波形データから回帰直線を表わす変数の正規分布を算出する動作のフローチャートであり、図7は、内面の状況が不明な被検査物から得られる変数と、内面が健全な被検査物から得られた変数の信頼区間とを比較して、内面の状況が不明な被検査物の内面が健全であるか腐食しているかを判別する動作のフロー

チャートである。

【0014】まず、本発明の内面腐食判別装置における内面の腐食状況を判別するための原理につき簡単に説明する。超音波は極めて指向性が強く、反射面が鏡面のごとく平滑であれば、反射面における入射角と反射角は等しい。また、反射面が平滑でなければ、反射面が一様でないことから反射波は拡散する。そして、外面10aと内面10bが平行な被検査物10に対して、パルス状の超音波を超音波送信手段12により外面10aから内面10bに向けて垂直に送信すれば、被検査物10内で外面10aと内面10bによって超音波はそれぞれ反射され、同一経路を繰り返して往復し、外面10aに設けられた超音波受信手段14でその反射波が多数回にわたり受信される。これらの反射波は、往復の都度一定の割合で減衰される。この減衰の割合は、反射面としての内面10bが平滑であるほど減衰が少なく、腐食により平滑でなくなるほど減衰が大きい。

【0015】そこで、超音波受信手段14で受信される反射波の強度は、図2に $B_1, B_2, B_3, \dots, B_n$ , ...で示すごとく、等比級数で減衰され、内面10bの腐食の度合いが大きいほど減衰率も大きくなる。

【0016】したがって、この反射波の強度の減衰率から、内面10bが健全であるか腐食されているかを定量的に判別することが可能である。

【0017】ここで、最初の反射波の強度を $B_1$ とし、2回目の反射波の強度が $\alpha^{-1}$ だけ減衰するとすれば、 $n$ 個目の反射波の強度 $B_n$ は、

$$B_n = B_1 \cdot \alpha^{-(n-1)}$$

と示すことができる。そして、上式を対数変換すると、

$$\log B_n = \log B_1 - (n-1) \log \alpha$$

と示すことができ、ここで $P_1 = \log B_1$ ,  $E = \log \alpha$ とおけば、

$$\log B_n = P_1 - (n-1) E$$

である。これらの $P_1$ と $E$ は定数であるから、 $\log B_n$ は $n$ を変数とした図3のごとき回帰直線として示される。

【0018】さらに、この回帰直線 $\log B_n$ を表わす変数として、縦軸との切片 $P$ と横軸との切片 $L$ と直線の勾配 $A$ および三角形 $POL$ の面積 $S$ を求めることができる。そして、内面10bの状況が不明な被検査物10から得られるこれらの変数 $P, A, S, L$ を、内面10bが健全な被検査物10に対して得られる変数 $P, A, S, L$ と比較することで、状況が不明な内面10bにつき、健全か腐食しているか判別ができる。

【0019】ところで、内面10bが健全な被検査物10に対して得られる変数 $P, A, S, L$ は、測定誤差等によってバラツキを生じるが、そのバラツキは図4のごとき正規分布によるものと考えられる。そこで、予め、内面10bが健全な被検査物10に対して、5~30回程度またはそれ以上の回数だけ測定を繰り返して、それ

ぞれの波形データから変数 $P, A, S, L$ を求める。さらに、変数毎に、その平均値 $m$ と標準偏差 $\sigma$ とを求め、例えば信頼区間として $m \pm 1.96\sigma$ の上限値および下限値を求める。

【0020】そして、内面10bの状況が不明な被検査物10から得られた変数 $P, A, S, L$ が、いずれも信頼区間内にあれば、内面10bは健全であると判別できる。また、被検査物10から得られた変数が、信頼区間内に含まれなければ、内面10bに腐食が進行していると判別できる。

【0021】次に、上述した判別するための原理を用いた本発明の内面腐食判別装置の第1の実施例の構造につき説明する。図1において、鉄塔の鋼管等の被検査物10の外面10aに、パルス状の超音波を外面10aから内面10bに向けて垂直に送信する超音波送信手段12と、内面10bで反射された反射波を受信するための超音波受信手段14が配設される。これらの超音波送信手段12と超音波受信手段14とは、分割型探触子として図示されているが、送受信を単一振動子で行なう垂直型探触子であっても良い。

【0022】この超音波は、外面10aと内面10bとでそれぞれ反射されて、反射波が繰り返して超音波受信手段14に受信される。その受信された複数回の反射波からなる信号が、検波手段16で整流され、さらにその大きさに応じて $A/D$ 変換手段18でデジタル信号に変換され、波形データとして波形データ記憶手段20に記憶される。

【0023】そして、測定前に予め、内面10bが健全な被測定物10に対して5~30回程度またはそれ以上の回数で測定を繰り返して、多数個の波形データの収集がなされ、これらの波形データが波形データ記憶手段20から測定毎にまたはまとめて健全データ演算手段22に与えられる。この健全データ演算手段22は、後述するごとくして、各波形データのピーク値を算出するとともに、そのピーク値を対数変換して $\log B_n$ の回帰直線を求め、さらにこの $\log B_n$ の回帰直線を表わす変数 $P, A, S, L$ を算出する。そして、変数毎に、変数が正規分布しているものとして、その平均値 $m$ と標準偏差 $\sigma$ および信頼区間の上限値と下限値が算出され、これらのデータが適宜に記憶される。

【0024】また、測定の際に、内面10bの状況が不明な被測定物10から得られた波形データが波形データ記憶手段20から被検査データ演算手段24に与えられ、 $\log B_n$ の回帰直線を表わす変数 $P, A, S, L$ が算出されるとともに適宜に記憶される。

【0025】さらに、判別手段26により、被検査データ演算手段24で算出された変数 $P, A, S, L$ が、健全データ演算手段22で予め算出された信頼区間内に含まれるか否かが判別され、その判別結果が表示手段28によって表示される。

【0026】なお、超音波送信手段12の制御、および波形データ記憶手段20と健全データ演算手段22と被検査データ演算手段24と判別手段26は、コンピュータ30によりソフト的処理で制御および構成される。

【0027】さらに、図5を参照して波形データから、 $\log B_a$ の回帰直線を表わす変数P, A, S, Lの算出につき説明する。この波形データから変数P, A, S, Lを算出する動作は、健全データ演算手段22および被検査データ演算手段24で、ともに利用される。

【0028】まず、波形データから、各回の反射波のピーク値を算出する(ステップ①)。このピーク値の算出は、例えば超音波の送信から最初の反射波が受信されるまでの時間から、2回目以後の反射波が受信されるべき時間帯を区分することができる。そこで、最初の反射波のピーク値を算出した後は、各時間帯区分内の最大値をピーク値とすれば良い。次に、ステップ①で算出された各ピーク値の対数変換を行なう(ステップ②)。これらの対数変換された各ピーク値より最小二乗法等により回帰直線を算出する(ステップ③)。そして、この回帰直線を表わす変数P, A, S, Lを算出し(ステップ④)、これらを適宜に記憶し(ステップ⑤)、動作を終える。

【0029】被検査データ演算手段24にあっては、内面10bの状況が不明な被測定物10から得られた波形データを、波形データ記憶手段20から読み出し、図5に示す動作によって処理して、被測定物10の内面10bの状況を表わす変数P, A, S, Lを算出する。

【0030】また、健全データ演算手段22にあっては、上記図5の動作を用いるとともに変数の信頼区間の上限値と下限値を算出するが、これを図6を参照して説明する。予め、内面10bが健全であることが明らかな被検査物10から得られた波形データを、波形データ記憶手段20から読み出し、図5に示す動作によって変数P, A, S, Lを算出する(ステップ①)。そして、これらの変数P, A, S, Lを適宜に記憶する(ステップ②)。このステップ①と②の動作を5~30回またはそれ以上の所定回数だけ繰り返して、所定個数の変数P, A, S, Lが記憶されると(ステップ③)、各変数毎に平均値 $m$ と標準偏差 $\sigma$ および信頼区間の上限値と下限値の算出がなされる(ステップ④)。ここで、信頼区間を95%の信頼性とするならば、上限値は $m+1.96\sigma$ であり、下限値は $m-1.96\sigma$ とすれば良い。そして、これらの各変数毎の平均値 $m$ と標準偏差 $\sigma$ および信頼区間の上限値と下限値をそれぞれ記憶し(ステップ⑤)、動作を終了する。

【0031】判別手段26にあっては、図7に示すごとく、各変数毎に、健全データ演算手段22で算出した信頼区間内に、被検査データ演算手段24で算出した変数が含まれるか否かが比較される(ステップ①)。そして、全ての変数について被検査データ演算手段24の変

数が、信頼区間内にあるならば(ステップ②)、内面10bの状況は健全であると判別し(ステップ③)、被検査データ演算手段24の変数のいずれか1つでも信頼区間に含まれていないならば(ステップ④)、内面10bの状況は腐食されていると判別する(ステップ④)。さらに、ステップ③と④の判別結果を適宜に記憶する(ステップ⑤)。なお、この判別結果は、表示手段28により適宜に表示される。

【0032】図8は、判別手段26における他の判別動作を示す。まず、各変数毎に健全データ演算手段22で算出した信頼区間と、被検査データ演算手段24で算出した変数を比較する(ステップ①)。そして、変数が、信頼区間内であれば“0点”と評価し、信頼区間外で $\pm 3\sigma$ 以内の範囲では“1点”と評価し、 $\pm 3\sigma$ 以上では“2点”と評価し、これらの得点を加算する(ステップ②)。さらに、この加算値を評価結果として適宜に記憶する(ステップ③)。なお、この評価結果は、表示手段28により適宜に表示される。

【0033】この図8に示す判別動作にあっては、評価結果が“0点”であれば、被検査物10の内面10bは健全であり、評価結果が“1点”であれば内面10bは黒変部等のごとくやや腐食が始まっており、評価結果が多きいほど赤サビ等の腐食の程度が進んでいると判断し得る。

【0034】なお、上記第1の実施例では、波形データのピーク値から得られる $\log B_a$ を示す回帰直線を、4個の変数P, A, S, Lを用いて表示しているが、これに限られず、2個の変数P, A等から判別手段26で内面10bの状況を判別するようにしても良い。また、信頼区間の設定は、上記実施例に限られず、用途等に応じて適宜に設定すれば良い。さらに、信頼区間を算出するための内面10bが健全である波形データの個数は、多ければ多いほど平均値 $m$ および標準偏差 $\sigma$ が母集団を正確に示すので、それだけ判別精度が向上する。

【0035】また、図8に示す判別動作にあっては、信頼区間に対する変数の評価を異なる重みづけの点数で行なっても良いことは勿論である。

【0036】上記実施例では内面が健全な被検査物から得られた波形データに対して、内面の状況が不明な被検査物から得られた波形データを比較するもので、推計学(統計学)的には分散の比較を応用したものである。そこで、次に推計学的に他の手法である多重相関分析を応用した本発明の内面腐食判別装置の第2の実施例につき簡単に説明する。第2の実施例において、第1の実施例のブロック構造図とほぼ同一であって、図1における健全データ演算手段22が重回帰式演算手段とその名称と作用が代わるのみであり、ブロック構造図の図示を省略する。

【0037】第2の実施例における重回帰式演算手段は、以下のごとく作用する。予め、内面が健全な被測定

物および内面が腐食されていてその程度が明らかな被測定物から得られた複数の波形データから、第1の実施例と同様にしてそれぞれ回帰直線を算出し、そしてこれらの回帰直線をそれぞれに表わす変数P、A、S、Lを求める。さらに、これらの変数により腐食の程度yを示す重回帰式を算出して適宜に記憶する。ここで、重回帰式は、

$$y = a_1 \cdot P + a_2 \cdot A + a_3 \cdot S + a_4 \cdot L$$

と示され、図9のごとく直線で示される。

【0038】そして、判別手段26により、被検査データ演算手段24で算出された変数P、A、S、Lが、上記重回帰式に代入されて腐食の程度を示すyが算出され、算出値が適宜な基準値より大きければ、内面は腐食されていると判別し、基準値より小さければ、内面は健全であると判別する。

【0039】さらに、推計学的にさらに別の手法である多変量解析を応用した本発明の内面腐食判別装置の第3の実施例につき簡単に説明する。第3の実施例にあっても第2の実施例と同様に、第1の実施例のブロック構造図とほぼ同一であって、図1における健全データ演算手段22が判別式演算手段とその名称と作用が代わるのみであり、ブロック構造図の図示を省略する。

【0040】第3の実施例における判別式演算手段は、以下のごとく作用する。予め、内面が健全な被測定物および内面が腐食されていてその程度が明らかな被測定物から得られた複数の波形データから、第1の実施例と同様にしてそれぞれ回帰直線を算出し、そしてこれらの回帰直線をそれぞれ表わす複数の変数、例えばA、Sを求める。これらの2個の変数A、Sを散布図により示せば、図10のごときとなる。さらに、これらの変数から内面が健全であるか腐食されているかを区分する判別式を算出して適宜に記憶する。ここで、変数をA、Sの2個とすれば、その判別式は、

$$F = b_1 \cdot A + b_2 \cdot S + b_3$$

と示され、図10に示すごとき直線でF=0が表される。

【0041】そして、判別手段26により、被検査データ演算手段24で算出された2個の変数A、Sが、上記判別式に代入されてFが算出され、算出値が>0であれば内面は健全であると判別し、≤0であれば内面は腐食されていると判別する。または、上記判別式をF=0として、AとSの一般方程式に書き改めると、

$$S = -(b_1 \cdot A + b_3) / b_2$$

となる。そこで、被検査データ演算手段24で算出された変数Aを上記方程式に代入して算出されたSの値より被検査データ演算手段24で算出された変数Sの値が大きければ、内面は健全であると判別し、また上記方程式にAを代入して算出されたSの値より被検査データ演算手段24で算出された変数Sの値が小さくまたは一致すれば、内面は腐食されていると判別する。

【0042】この第3の実施例における上記説明では、一例として2個の変数を用いて判別式を算出しているが、これに限られず、複数の変数を用いてこれらの複数の変数から内面が健全であるか腐食されているかを区分する判別式を算出するようにすれば良い。

【0043】なお、本発明の内面腐食判別装置は、予め内面が健全な被測定物から得られた波形データから算出した回帰直線を表わす変数、または予め内面が健全な被測定物から得られた波形データと内面が腐食されていてその程度が明らかな被測定物から得られた波形データとから算出した回帰直線を表わす変数を母集団とし、内面の状況が不明な被測定物から得られる波形データから算出される回帰直線を表わす変数を試料として、推計学(統計学)的手法を用いて健全か腐食かを判別すれば良く、上記実施例に限られるものでない。

【0044】上記推計学的手法による判別に加えて、より判別精度を向上させるように、被検査物の板厚を判別に加味しても良い。すなわち、超音波の送信から反射波を受信するまでの時間、または複数回の反射波の周期から、被検査物の板厚を測定してこれを記憶する板厚測定手段を設ける。ここで、内面の腐食が進行するほど板厚が減少する。そして、この板厚測定手段により測定された板厚が適宜な基準値以下であれば腐食していると判別し得る。そこで、判別手段26による判別において、板厚を加味することで、被検査物の内面の状況をより精度高く判別がなし得る。この板厚を加味する一例としては、この板厚と内面の腐食の状況にそれぞれ適宜な重みづけして加算し、その加算値に応じて腐食の状況を判別しても良い。

【0045】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の内面腐食判別装置は構成されているので、以下のごとき格別な効果を奏する。

【0046】請求項1記載の内面腐食判別装置にあつては、被検査物の外面から超音波を内面に向けて送信し、その反射波から内面の状況を判断するので、従来の光ファイバースコープを用いる装置に比較して、検査が容易である。そして、予め内面の健全なものから得られる反射波のピーク値の回帰直線を示す変数と、内面の状況が不明な被検査物から得られる反射波のピーク値の回帰直線を示す変数とを、分散の比較により推計学的処理することで、内面が健全であるか否かを定量的に判別することができ、検査精度が良いという格別な効果を奏する。

【0047】請求項2または3記載の内面腐食判別装置にあつては、予め内面が健全な被測定物および内面が腐食されていてその程度が明らかな被測定物から得られた波形データより算出される重回帰式または判別式に、内面の状況が不明な被検査物から得られる波形データより算出される変数を代入することで、多重相関分析または多変量解析による推計学的処理することで、内面が健全

であるか否かを定量的に判別することができ、請求項1記載の内面腐食判別装置と同様に、検査精度の優れたものである。

【0048】さらに、請求項4記載の内面腐食判別装置にあっては、腐食の進行により板厚が減少することから、被測定物の板厚を加味して、内面が健全であるか否かを判別手段で判別することで、検査精度をより一層向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の内面腐食判別装置の第1の実施例のブロック構造図である。

【図2】波形データの一例を示す図である。

【図3】波形データから得られる回帰直線を示す図である。

【図4】予め内面が健全な被検査物から得られた複数の回帰直線を表わす変数の正規分布を示す図である。

【図5】波形データから回帰直線を表わす変数を算出する動作のフローチャートである。

【図6】予め内面が健全な被検査物から得られた複数の波形データから回帰直線を表わす変数の正規分布を算出する動作のフローチャートである。

【図7】内面の状況が不明な被検査物から得られる変数と、内面が健全な被検査物から得られた変数の信頼区間とを比較して、内面の状況が不明な被検査物の内面が健全であるか腐食しているかを判別する動作のフローチャートである。

【図8】内面の状況が不明な被検査物から得られる変数

と、内面が健全な被検査物から得られた変数の信頼区間とを比較して、内面の状況が不明な被検査物の内面が健全であるか腐食しているかを判別する他の動作のフローチャートである。

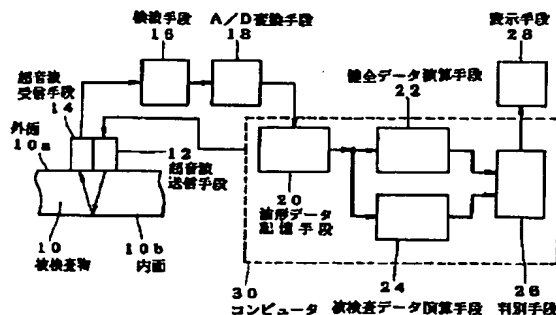
【図9】内面が健全な被測定物および内面が腐食されていてその程度が明らかな被測定物から得られた複数の波形データから、それぞれ回帰直線を算出し、その変数P, A, S, Lより算出した腐食の程度を示す重回帰式を示す図である。

【図10】内面が健全な被測定物および内面が腐食されていてその程度が明らかな被測定物から得られた複数の波形データから、それぞれ回帰直線を算出し、その変数A, Sの散布図と健全であるか腐食されているか区分する判別式を示す図である。

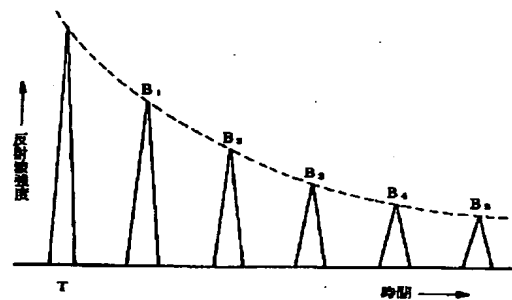
【符号の説明】

- 10 被検査物
- 10a 外面
- 10b 内面
- 12 超音波送信手段
- 14 超音波受信手段
- 18 A/D変換手段
- 20 波形データ記憶手段
- 22 健全データ演算手段
- 24 被検査データ演算手段
- 26 判別手段
- 28 表示手段

【図1】

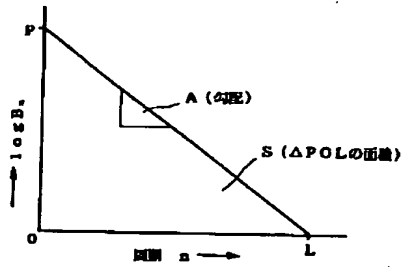


【図2】

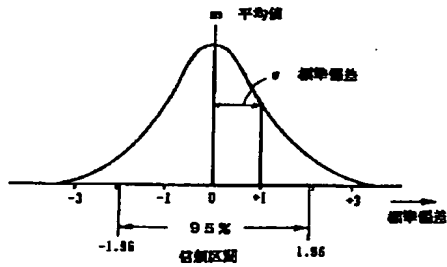




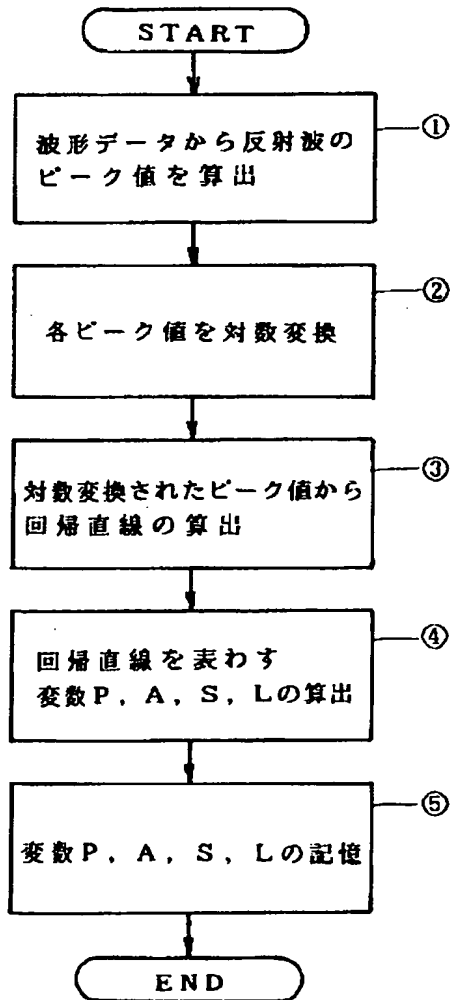
【図3】



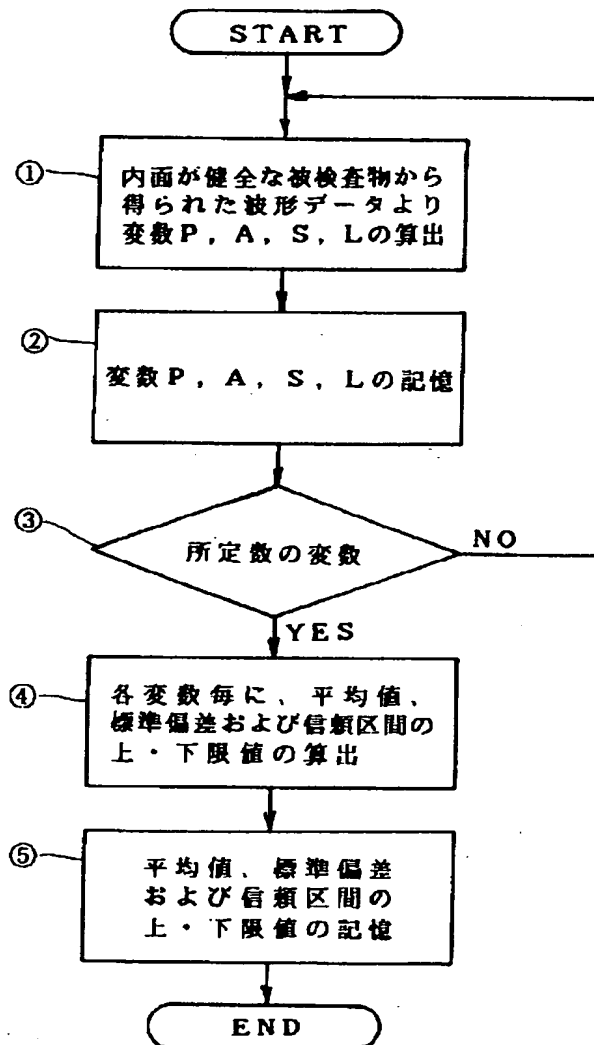
【図4】



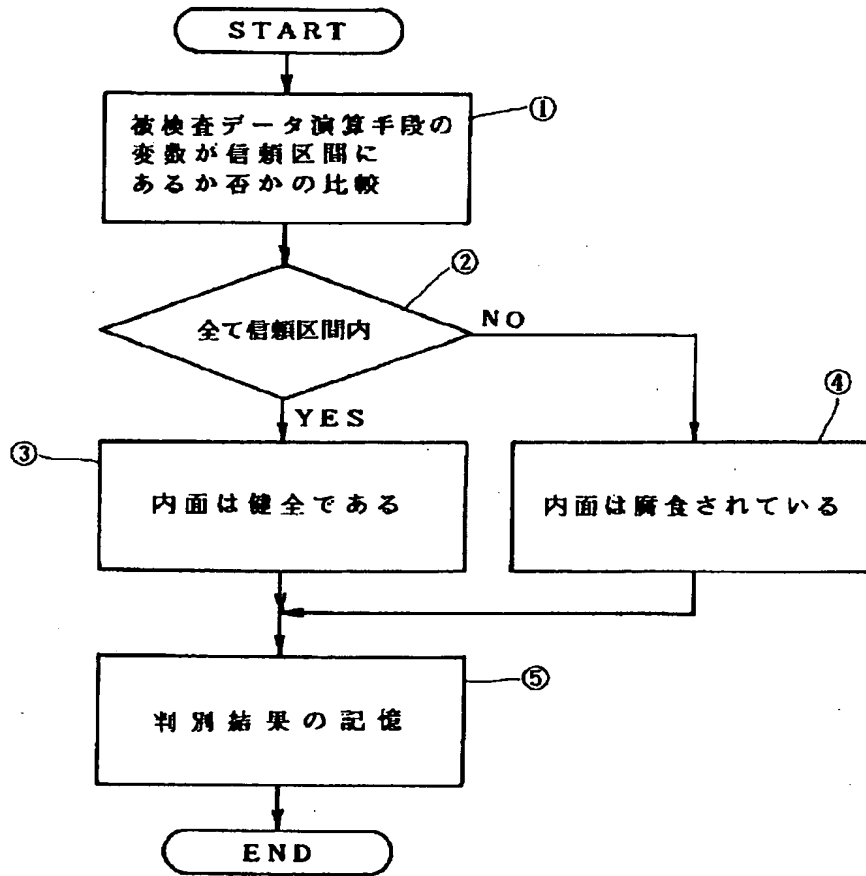
【図5】



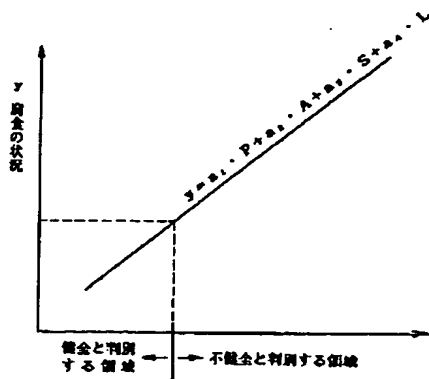
【図6】



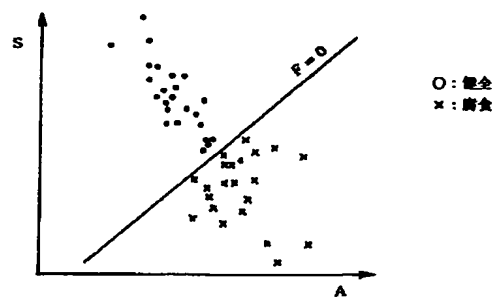
【図7】



【図9】



【図10】



【図8】

